



**АППАРАТЫ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ  
СТОЧНЫХ ВОД**

# *Цель работы*

- Ознакомление с аппаратами механической очистки сточных вод.
- Расчет аппарата на примере отстойника.

*Сооружения механической очистки сточных вод предназначены для задержания нерастворенных примесей. К ним относятся решетки, сита, песколовки, отстойники и фильтры различных конструкций.*

Сооружения механической очистки сточных вод являются предварительной стадией перед биологической очисткой. При механической очистке городских сточных вод удастся задержать до 60% нерастворенных загрязнений.

- *Работа многочисленных аппаратов, предназначенных для выделения из сточных вод твердых и жидких примесей, основана на гидродинамических закономерностях процесса отстаивания.*
- К таким аппаратам относятся песколовки, первичные и вторичные отстойники, илоуплотнители, нефтеловушки, смоло-жиро-маслоуловители.

Основным рассчитываемым параметром является: скорость осаждения, зависящая от диаметра частиц, их формы, плотности частиц, плотности воды и  $Re$  (число Рейнольдса при осаждении частицы).

При отстаивании наблюдается стесненное осаждение, которое сопровождается столкновением частиц, трением между ними и изменением скоростей как больших, так и мелких частиц. Скорость стесненного осаждения меньше скорости свободного осаждения вследствие возникновения восходящего потока жидкости и большей вязкости среды.

- *Отстойники являются основными сооружениями механической очистки сточных вод, и используются для удаления оседающих или всплывающих грубодисперсных веществ. Различают первичные отстойники, которые устанавливают перед сооружениями биологической или физико-химической очистки, и вторичные отстойники - для выделения активного ила или биопленки.*
- В зависимости от направления движения потока воды, отстойники подразделяют на горизонтальные (рис.1), вертикальные и радиальные.

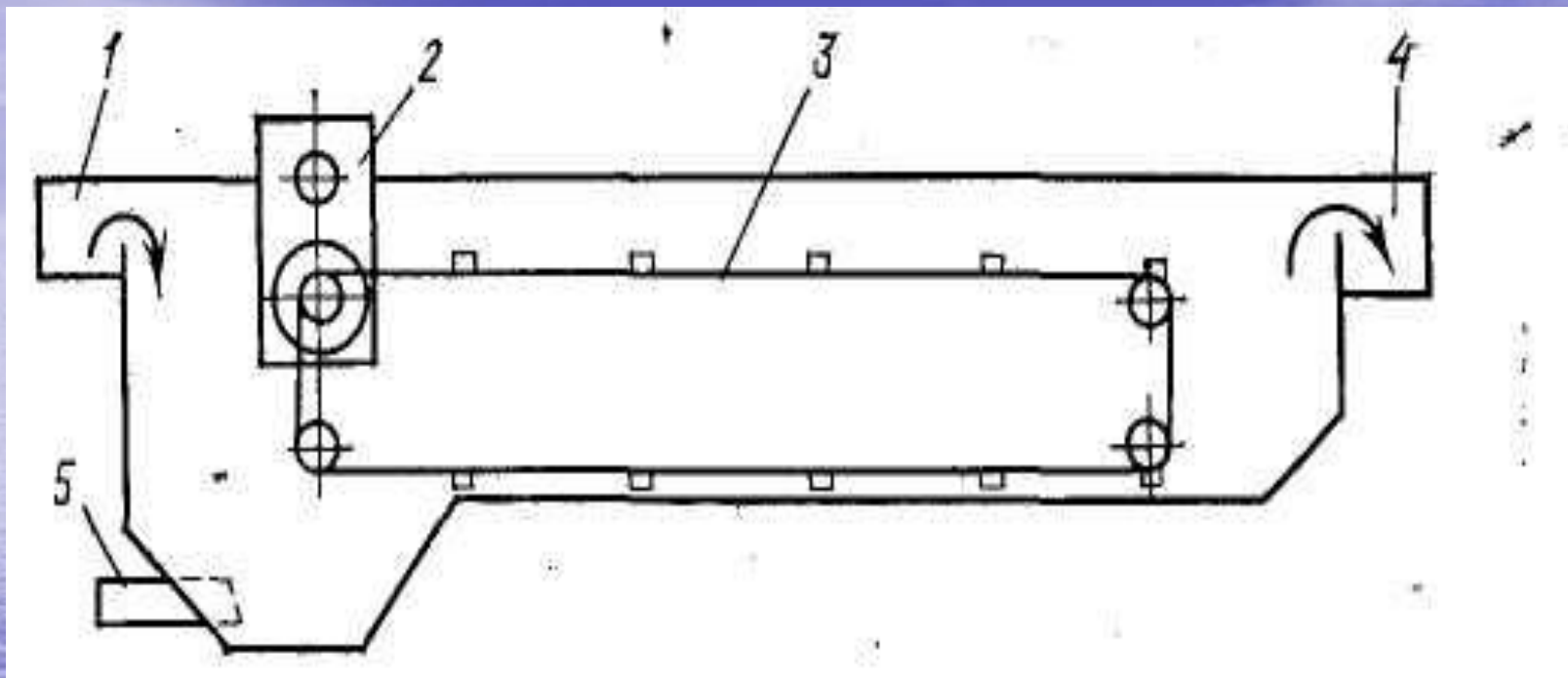


Рис. 1. Горизонтальный отстойник:

1 - водоподводящий лоток; 2 - привод скребкового механизма; 3 - скребковый механизм; 4 - водоотводящий лоток; 5 - отвод осадка.



- К отстойникам относят и осветлители, в которых одновременно с отстаиванием сточная вода фильтруется через слой взвешенного осадка, а также осветлители-перегниватели и двухъярусные отстойники, где одновременно с осветлением воды происходит уплотнение выпавшего осадка.

Горизонтальные отстойники применяют при расходах воды не более 15 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Вертикальные отстойники - применяют при расходах до 20 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

При расходах более 20 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

применяют радиальные отстойники.

Двухъярусные отстойники применяют для очистки бытовых стоков и одновременного сбраживания и уплотнения выпавшего осадка.

Отстойники-осветлители применяют при повышенном содержании в сточных водах труднооседающих веществ.

*Преимущество отстойников заключается в простоте, экономичности и надежности в эксплуатации этих очистных сооружений. Эффективность очистки сточных вод в отстойниках достигает 70%.*

При расчете отстойника рассчитывают: эффективность осаждения, продолжительность отстаивания и размер сооружения (длина, высота, радиус).

# Методика

В сгустителях проводят следующие процессы: отделение большей части жидкой фазы суспензии перед фильтрованием, улавливание из сточных вод ценных (или вредных) частиц твердой фазы.

Отстаивание применяют в промышленности для сгущения суспензий или классификации по фракциям частиц твердой фазы суспензии.

- Конструктивно сгустители и классификаторы выполняются аналогично, однако при расчете сгустителей основываются на скорости осаждения самых мелких частиц суспензий, а при расчете классификаторов – на скорости осаждения тех частиц, которые должны быть преимущественно отделены на данной стадии.

- Из непрерывно действующих отстойников наиболее распространены сгустители с вращающимися скребками.
- В промышленности широко применяют отстойники непрерывного действия с гребковой мешалкой (рис.2).

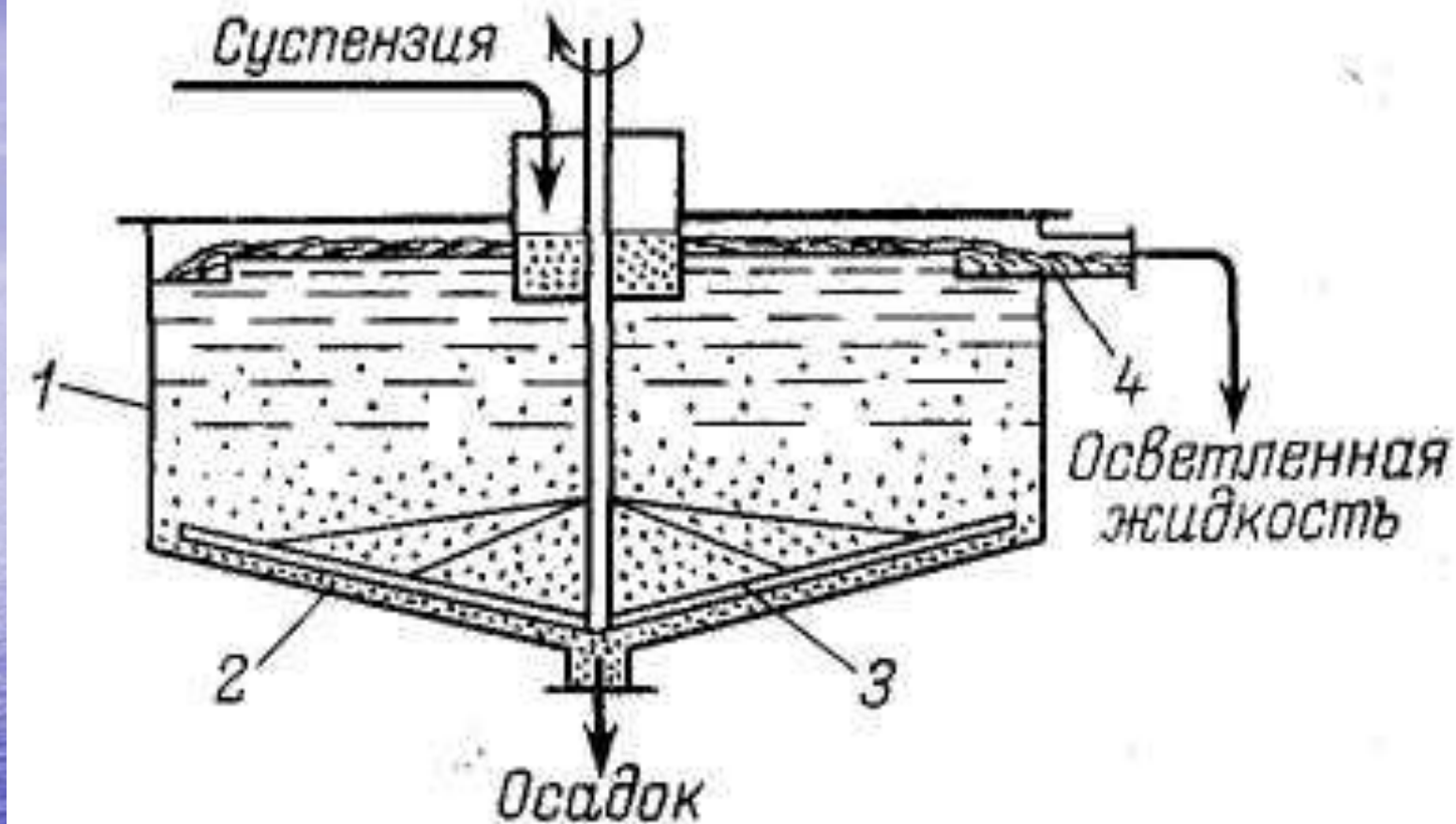


Рис. 2. Отстойник для суспензий: 1 - цилиндрический корпус; 2 - днище; 3 - гребковая мешалка; 4 - кольцевой желоб для сбора осветленной жидкости

## Их основные размеры:

Диаметр, м	1,8	3,6	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	24,0	30,0
Высота, м	1,8	1,8	3,0	3,6	3,5	3,6	3,2	3,6	3,6
Поверхность, м <sup>2</sup>	2,54	10,2	28,2	63,9	113	176,6	254	452	706,5



Конструкции непрерывно действующих отстойников в основном отличаются системой удаления осадка, обеспечивающей непрерывное медленное перемещение сгущенного осадка по дну резервуара к расположенному в центре коллектору (обычно коническому) и разгрузку через отвод (или откачку диафрагмовым насосом). Суспензия в сгуститель (цилиндрического сечения) поступает через центральную трубу. Осветленная жидкость переливается по периферии аппарата в кольцевой желоб.

При расчете отстойников основной расчетной величиной является поверхность осаждения  $F$  ( $\text{м}^2$ ), которую находят по формуле (1):

$$F = K_3 \frac{G_{\text{см}}}{\rho_{\text{осв}} \omega_{\text{от}}} \left( \frac{x_{\text{ос}} - x_{\text{см}}}{x_{\text{ос}} - x_{\text{осв}}} \right),$$

- где  $K_3$  - коэффициент запаса поверхности, учитывающий неравномерность распределения исходной суспензии по всей площади осаждения, вихреобразование и другие факторы, проявляющиеся в производственных условиях (обычно  $K_3 = 1,3 - 1,35$ );  $G_{\text{см}}$  - массовый расход исходной суспензии, ( $\text{кг/с}$ );  $\rho_{\text{осв}}$  - плотность осветленной жидкости, ( $\text{кг/м}^3$ );  $\omega_{\text{от}}$  - скорость осаждения частиц суспензии, ( $\text{м/с}$ );  $x_{\text{см}}$ ,  $x_{\text{ос}}$  и  $x_{\text{осв}}$  - коэффициенты содержания твердых частиц соответственно в исходной смеси, осадке и осветленной жидкости, (массовые доли).

Скорость осаждения частиц суспензии  
(**скорость стесненного осаждения**) можно  
рассчитать по формулам (2):

$$\text{при } \varepsilon > 0,7 \quad \omega_{\text{ст}} = \omega_{\text{ос}} \varepsilon^2 10^{-1,82(1-\varepsilon)},$$

$$\text{при } \varepsilon \leq 0,7 \quad \omega_{\text{ст}} = \omega_{\text{ос}} \cdot 0,123 \varepsilon^3 / (1 - \varepsilon),$$

где  $\omega_{\text{ос}}$  — скорость свободного осаждения  
частиц (м/с);

$\varepsilon$  — объемная доля жидкости в суспензии.

Величину  $\varepsilon$  находят по соотношению (3):

$$\varepsilon = 1 - X_{см} \rho_{см} / \rho_T$$

- где  $\rho_{см}$  - плотность суспензии (кг/м<sup>3</sup>) и
- $\rho_T$  - плотность твердых частиц, (кг/м<sup>3</sup>).

Плотность суспензии можно определить по формуле (4):

$$\rho_{см} = 1 / [x_{см} / \rho_T + (1 - x_{см}) / \rho_{ж}],$$

где  $\rho_{ж}$  — плотность чистой жидкости (кг/м<sup>3</sup>)

Скорость свободного осаждения  
шарообразных частиц (м/с)  
рассчитывают по формуле (5):

$$w_{oc} = \mu_{ж} Re / (d_T \rho_{ж}),$$

где  $\mu_{ж}$  - вязкость жидкости (Па·с);  $d_T$  -  
диаметр частицы (м);  $Re$  - число  
Рейнольдса при осаждении частицы

- Если частицы имеют не шарообразную форму, то в формулу (5) в качестве  $d_T$  следует подставить диаметр эквивалентного шара; кроме того, величину  $\omega_{oc}$  следует умножить на поправочный коэффициент  $\varphi$ , называемый коэффициентом формы. Его значения определяют опытным путем. В частности, для округлых частиц  $\varphi \approx 0,77$ , угловатых - 0,66, продолговатых - 0,58, пластинчатых - 0,43.

Значение **Re** рассчитывают по формулам (6, 7, 8, 9), зависящим от режима осаждения, что определяется с помощью критерия Архимеда (**Ar**):

$$Ar = d_t^3 \rho_{ж} g (\rho_{т} - \rho_{ж}) / \mu_{ж}^2$$

$$\text{при } Ar < 36 \quad Re = Ar / 18;$$

$$\text{при } 36 < Ar < 83\,000 \quad Re = 0,152 Ar^{0,714};$$

$$\text{при } Ar > 83\,000 \quad Re = 1,74 \sqrt{Ar}.$$



## Пример.

- Рассчитать отстойник для сгущения водной суспензии по следующим исходным данным:
- расход суспензии  $G_{CM} = 9600$  (кг/ч),
- содержание твердых частиц в суспензии  $x_{CM} = 0,1$  (кг/кг),
- в осадке  $x_{OC} = 0,5$  (кг/кг),
- в осветленной жидкости  $x_{OCB} = 0,0001$  (кг/кг).
- Частицы суспензии имеют шарообразную форму.
- Минимальный размер удаляемых частиц  $d_T = (25 \text{ мкм})$ .
- Плотность частиц  $\rho_T = 2600$  (кг/м<sup>3</sup>).
- Вязкость жидкости  $\mu_{Ж} = 1,519 * 10^{-3}$  (Па с)
- Осаждение происходит при температуре 5 °С.

Определим значение критерия  $Ar$  по формуле (6):

$$Ar = (25 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 1000 \cdot 9,81 (2600 - 1000) / (1,519 \cdot 10^{-3})^2 = 0,106.$$

Поскольку  $Ar < 36$ , рассчитаем  $Re$  по формуле (7):

$$Re = 0,106 / 18 = 0,00589.$$

Скорость свободного осаждения в соответствии с выражением (5) составит:

$$w_{oc} = 0,00589 \cdot 1,519 \cdot 10^{-3} / (25 \cdot 10^{-6} \cdot 1000) = 3,58 \cdot 10^{-4} \text{ м/с.}$$

Найдем плотность суспензии по формуле (4):

$$\rho_{см} = 1 / (0,1/2600 + 0,9/1000) = 1066 \text{ кг/м}^3.$$

По формуле (3) определим значение  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = 1 - 0,1 \cdot 1066 / 2600 = 0,959.$$

Поскольку  $\varepsilon > 0,7$ , для расчета скорости стесненного осаждения применяем формулу (1):

$$w_{ст} = 3,58 \cdot 10^{-4} \cdot 0,959^2 \cdot 10^{-1,82(1-0,959)} = 2,77 \cdot 10^{-4} \text{ м/с.}$$

По формуле (1) находим поверхность осаждения, принимая  $Kз = 1,3$  и считая, что плотность осветленной жидкости равна плотности чистой воды:

$$F = 1,3 \frac{9600}{3600 \cdot 1000 \cdot 2,77 \cdot 10^{-4}} \frac{(0,5 - 0,1)}{0,5 - 0,0001} = 10,0 \text{ м}^2.$$

По приведенным данным выбираем отстойник диаметром 3,6 м, высотой 1,8 м, имеющий поверхность 10,2 м<sup>2</sup>.

## Задание:

- По приведенной выше методике определить поверхность осаждения отстойника  $F$  (м<sup>2</sup>), применяемого для механической очистки сточных вод промпредприятий, при следующих исходных данных в соответствии с вариантом индивидуального задания (табл. 1):

# Исходные данные

Таблица 1

№ варианта	Расход суспензии $G_{CM}$ (кг/ч)	Содержание твердых частиц в суспензии $x_{CM}$ (кг/кг)	Содержание твердых частиц в осадке $x_{oc}$ (кг/кг)	Содержание твердых частиц в осветленной жидкости $x_{ocв}$ (кг/кг)	Минимальный размер удаляемых частиц $d_T$ (мкм)	Плотность частиц $\rho_T$ (кг/м <sup>3</sup> )
1	7250	0,1	0,45	0,0001	15	2100
2	9100	0,15	0,47	0,00015	20	2200
3	9500	0,2	0,5	0,0001	25	2300
4	8300	0,1	0,52	0,00015	30	2400
5	9200	0,15	0,55	0,0001	15	2500
6	7750	0,2	0,57	0,00015	20	2100
7	7300	0,1	0,6	0,0001	25	2200
8	7400	0,15	0,62	0,00015	30	2300
9	8100	0,2	0,65	0,0001	15	2400
10	8350	0,1	0,45	0,00015	20	2500

11	9200	0,15	0,47	0,0001	25	2100
12	9000	0,2	0,5	0,00015	30	2200
13	8000	0,1	0,52	0,0001	15	2300
14	8200	0,15	0,55	0,00015	20	2400
15	8400	0,2	0,57	0,0001	25	2500
16	9550	0,1	0,6	0,00015	30	2100
17	7600	0,15	0,62	0,0001	15	2200
18	7500	0,2	0,65	0,00015	20	2300
19	7900	0,1	0,45	0,0001	25	2400
20	7450	0,15	0,47	0,00015	30	2500
21	9600	0,2	0,5	0,0001	15	2100
22	7450	0,1	0,52	0,00015	20	2200
23	7550	0,15	0,55	0,0001	25	2300
24	8100	0,2	0,57	0,00015	30	2400
25	8150	0,1	0,6	0,0001	15	2500
26	9050	0,15	0,62	0,00015	20	2100
27	8050	0,2	0,65	0,0001	25	2200
28	9400	0,1	0,45	0,00015	30	2300
29	9300	0,15	0,47	0,0001	15	2400
30	9650	0,2	0,5	0,00015	20	2500

## Контрольные вопросы:

- Какое оборудование используется для механической очистки сточных вод?
- Какой параметр является основным при расчете аппаратов механической очистки сточных вод?
- Что такое «стесненное осаждение»?
- Опишите принцип действия отстойника.
- Что такое «осветленная жидкость»?

- Как влияет содержание твердых частиц в исходной смеси, осадке и осветленной жидкости на величину площади поверхности осаждения отстойника?
- Какие параметры влияют на скорость осаждения частиц в суспензии?
- Как форма осаждаемых частиц влияет на скорость осаждения частиц в суспензии?
- Как определяется плотность суспензии?
- Что характеризуют числа Рейнольдса и Архимеда? Какая между ними связь?